L'E POINT EN RECHERCHE

juin 2003

Série technique 03-111

COMPARAISON DU RENDEMENT MODÉLISÉ ET DU RENDEMENT MESURÉ D'ÉLÉMENTS D'ISOLATION MURALE INSTALLÉS APRÈS COUP DANS UN BÂTIMENT EN MAÇONNERIE PLEINE

Introduction

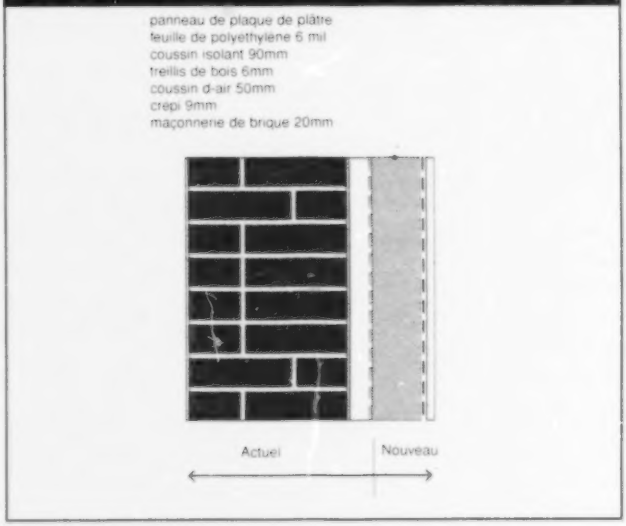
En 1996, la SCHL a participé à la rénovation d'un immeuble de quatre étages en maçonnerie pleine à Prince Albert, en Saskatchewan. Les travaux comprenaient l'ajout d'un isolant à l'intérieur des murs en maçonnerie pleine. Plusieurs architectes, rénovateurs et propriétaires d'immeubles ont des réserves à l'égard de ce genre d'installation, après coup, d'éléments d'isolation intérieure dans des structures en maçonnerie pleine. En effet, on croit que cette opération peut accroître les risques de bris du mur en raison des cycles de gel-dégel, des contraintes structurales et de la condensation interstitielle. C'est pourquoi la SCHL a entrepris un projet visant à mesurer l'impact de l'installation après coup d'éléments d'isolation sur la durabilité des murs en maçonnerie pleine, et ce, au cours de la première année suivant l'opération. La température, l'humidité relative, les échanges thermiques et la pression d'air ont été mesurés à plusieurs endroits dans l'enveloppe du bâtiment, afin de recueillir des données permettant d'évaluer le rendement des murs extérieurs nouvellement isolés. Les données amassées jusqu'à présent indiquent que les murs se comportent normalement, et qu'aucune des inquiétudes susmentionnées ne s'avère fondée.

Les mesures ont également été prises dans le but de comparer les données recueillies aux simulations par ordinateur de modèles hygrothermiques, en vue, dans un premier temps, de tester la capacité prédictive des modèles et, dans un deuxième temps, d'extrapoler les mesures expérimentales au moyen du modèle. Au terme de l'étape de cueillette des données, la SCHL a lancé le présent projet pour réaliser ces deux objectifs.

Programme de recherche

La plan de travail prévoit la simulation, par un modèle hygrothermique, du rendement des éléments muraux installés après coup dans l'immeuble de Prince Albert, la réalisation de ce modèle étant facilitée par les nombreuses données disponibles sur les conditions d'interface, les éléments muraux et les matériaux. La figure 1 montre une vue en coupe des éléments muraux installés.

Figure 1: Exemple d'un nouvel élément mural installé après coup



Au moyen du modèle hygrothermique WUFI, les conditions du mur ont été simulées en itérations d'une heure, en fonction de paramètres tels la masse thermique, la radiation solaire et de l'absorption de la pluie chassée. Les conditions d'interface avec l'extérieur ont été enregistrées dans des fichiers à partir des données recueillies à l'intérieur et à l'extérieur. En l'absence de données suffisantes, la meilleure approximation possible a été utilisée. Les propriétés des matériaux entrant dans les paramètres des simulations ont été tirées des sources disponibles pour des matériaux similaires.

Les propriétés par défaut des matériaux du modèle WUFI ont été privilégiées autant que possible, mais les chercheurs ont dû être judicieux dans plusieurs choix. Les valeurs par défaut ont été attribuées au stucco extérieur en mortier de chaux, à la

SCHL CMHC

AU COEUR DE L'HABITATION

Canada

63205

maçonnerie de brique, au bois d'épinette, au coussin et aux panneaux de plaque de plâtre. Un premier modèle a été créé pour une section représentative du mur ayant fait l'objet de mesures expérimentales et se basant uniquement sur l'information recueillie. Après la comparaison des simulations de ce « premier jet » aux résultats expérimentaux, il était évident que certaines propriétés des matériaux devaient être ajustées et qu'il fallait procéder à une étude plus minutieuse du montage du mur. Par exemple, il est apparu que certaines des propriétés des matériaux, comme la perméance du crépi et les capacités d'emmagasinage du bois et du treillis, avaient une grande incidence sur le comportement hygrothermique du mur.

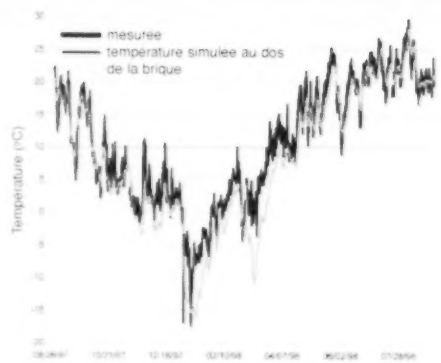
Les étapes du projet sont : la cueillette des données requises pour alimenter le modèle; la comparaison des simulations du modèle aux données expérimentales; la comparaison des résultats des deux modèles; l'explication détaillée des différences entre les données réelles et simulées; et une discussion sur les paramètres ayant le plus grand impact sur les résultats. Le rendement probable, à long terme, des éléments muraux installés après coup dans le bâtiment de Prince Albert a été discuté. Finalement, des recommandations ont été formulées pour les prochaines mesures et simulations des conditions de chaleur, d'air et d'humidité dans les murs.

Résultats

Les résultats des simulations concordent généralement avec les tendances et les ordres de grandeur des différents paramètres mesurés expérimentalement. Par exemple, les températures modélisées et mesurées ont été comparées en deux points du mur, soit à la surface extérieure et au dos de l'ouvrage de maçonnerie. Dans l'ensemble, les températures mesurées concordent avec les résultats des simulations. La figure 2 montre les résultats de la face intérieure du mur extérieur en maçonnerie.

L'humidité relative (HR) mesurée dans l'espace entre la maçonnerie et les éléments muraux intérieurs installés après-coup a été comparée aux valeurs prévues par le modèle. Les variations de HR enregistrées à cet endroit ont été beaucoup

Figure 2: Comparaison des températures simulées et mesurées de la surface intérieure du mur de maçonnerie



plus brusques et importantes que celles prévues pour le modèle, et les déviations par rapport aux mesures s'accentueraient à certains moments de l'année (fin décembre et mi-juin). On croit que ces écarts pourraient être dus à l'isotherme de sorption du bois, à l'hystérèse particulière du bois sur de brèves périodes ou à l'influence de l'infiltration de l'air.

En règle générale, une bonne concordance entre les données expérimentales et les résultats des simulations a été obtenue en tenant compte des mouvements de l'air dans le mur. Les simulations suggèrent que l'humidité des murs tend vers un équilibre annuel (c'est-à-dire qu'il n'y a aucun gain ni aucune perte nette d'humidité en une année). Les données expérimentales ont confirmé ces tendances. Le mur s'est asséché après avoir été mouillé pendant de brèves périodes; par conséquent, aucune accumulation d'humidité à long terme n'est escomptée.

Étude paramétrique de la simulation hygrothermique:

Les variables ayant un impact significatif sur les résultats des simulations sont l'étanchéité à l'air, les conditions initiales d'humidité dans le mur, la perméance à la vapeur du crépi et le pare-vapeur. En outre, la méthode de modélisation de l'espace interstitiel du treillis a eu une incidence importante sur les résultats. Le climat choisi dans les simulations a également joué un rôle. Certains des effets prédominants sont discutés ci-dessous.

Effet des conditions initiales d'humidité : le mur modélisé a une masse hygrique élevée et une perméance extérieure et intérieure relativement faible. Ainsi, le taux d'humidité initial choisi pour la simulation a un effet durable sur le rendement du mur. Les simulations pour lesquelles on a postulé, au départ, un taux d'humidité élevé ont manifesté moins de fluctuations à court terme, à cause de la quantité importante d'humidité devant être ajoutée ou soustraite pour modifier le taux d'HR du mur.

Effet de la perméance du crépi : la valeur par défaut de la perméance d'un enduit à la chaux de 10 mm d'épaisseur est de 2 600 ng/Pa/s/m^2. Trois autres valeurs de perméance du crépi ont été simulées. On a constaté que la perméance du crépi n'a pas d'effet significatif sur les résultats. Par contre, plus la perméance du crépi est faible, plus les simulations concordent avec les données expérimentales.

Effet de la masse du bois : le volume total de bois dans le mur (tasseaux de 50 x 50 mm @400 mm, montants de 38 x 89 mm @400 mm et 6 x 19 mm @25 mm) représentait l'équivalent d'environ 19 mm de bois solide. Une étude paramétrique a été menée pour évaluer les effets d'une épaisseur de bois équivalente sur les résultats des simulations. On a constaté que la capacité d'emmagasinage de l'humidité est proportionnelle à l'épaisseur du bois et modifie le comportement du mur. À la lumière de ces résultats, l'utilisation d'une épaisseur de bois de 19 mm pour toutes les simulations a été privilégiée. Cependant, comme le bois n'est pas installé dans le mur en une couche unique et uniforme, sa perméance a été augmentée

artificiellement à 9 700 perm métriques afin de tenir compte du fait que l'air et la vapeur d'eau peuvent circuler librement dans le treillis et les éléments de structure.

Effet de la perméance de la couche interne : la perméance de la couche intérieure est bien documentée – le polyéthylène a une perméance d'environ 3,7 perm métriques. Malgré cela, la perméance dans les couches internes du mur a été étudiée, à cause de son influence potentielle sur le rendement du mur. La perméance de la couche intérieure du mur choisie pour les simulations a été augmentée par sauts, de 3,7 perm métriques (polyéthylène de 0,15 mm d'épaisseur) à 37 perm (peinture à l'huile épaisse normale), à 370 perm (estimation élevée pour une peinture au latex sur un mur de plaque de plâtre), à 3 700 perm (une valeur correspondant pratiquement à une résistance à la vapeur qui serait nulle). Dans un climat très froid et sec comme celui de Prince Albert, l'HR provenant du mur intérieur est beaucoup plus faible avec une résistance à la vapeur très faible ou nulle. Cela est attribuable à la faible humidité relative à l'intérieur (due au faible taux d'occupation et à la ventilation efficace), ainsi qu'à la qualité isolante et à la capacité d'emmagasinage d'humidité de la maçonnerie. Il importe de souligner que ces résultats n'ont de valeur que dans les conditions extrêmement sèches de ce bâtiment.

Simulations dans différents climats : un point du mur a été soumis à un essai simulant un emplacement exposé, orienté vers l'est et soumis au climat de Toronto (cette orientation a été choisie car elle donne toujours le pire rendement). Les résultats indiquent que le mur, qui s'est bien comporté à Prince Albert, s'humidifierait beaucoup plus à Toronto. En fait, l'HR du mur a grimpé continuellement au cours des deux premières années. L'impact du retrait du pare-vapeur en polyéthylène a également été examiné. Le retrait du polyéthylène ne réduit pas l'HR dans le coussin d'air du mur et ne modifie pas le contenu en humidité de l'ouvrage de maçonnerie.

Recommandations pour les mesures expérimentales

Plusieurs recommandations précises à l'intention des futurs projets de mesure expérimentale ont été formulées à la lumière de l'expérience acquise au cours des travaux de corroboration des mesures expérimentales et des données expérimentales. On doit avoir une description détaillée de l'immeuble à l'étude et de son environnement, connaître l'emplacement des senseurs et disposer de données précises sur la radiation solaire et la pluie chassée. La mesure de la vitesse et la direction du vent, et idéalement certaines données sur la pression d'air dans le mur, sont également utiles dans l'évaluation des effets de la pluie chassée et du potentiel de fuites d'air. Dans les murs ayant une forte capacité d'emmagasinage de l'humidité, un ensemble de valeurs gravimétriques de contenu en humidité permet d'éviter de recourir à une estimation du contenu initial en humidité.

Recommandations pour la modélisation

À ce stade de développement de la modélisation hygrothermique, la qualité des prédictions dépend fortement de l'expérience et de l'expertise des analystes. Pour la réalisation du présent projet, par exemple, on a dû recourir à la dérivation de certaines propriétés des matériaux, à la création de conditions précises d'interface avec l'extérieur, à une étude des conditions intérieures et à une connaissance pratique des effets des défectuosités dans les immeubles (comme les fuites d'air et la pénétration de la pluie).

Il faut tenir compte du climat pour améliorer la précision du modèle. Le rôle de la pluie chassée peut être particulièrement important; les différences entre les données recueillies et les normales climatiques peuvent avoir une incidence appréciable quant aux murs exposés comportant des matériaux d'enveloppe absorbants. On devrait employer des études paramétriques pour distinguer les paramètres qui ont un effet significatif sur les simulations de ceux qui n'en ont pas. Les conditions initiales d'humidité doivent être choisies en se basant sur les valeurs mesurées (si on dispose de telles données), ou le modèle doit être calibré en fonction des mesures expérimentales pour obtenir une quelconque concordance entre la modélisation et les mesures dans les systèmes ayant une capacité significative d'emmagasinage de l'humidité (ex. : maçonnerie et bois). Les matériaux composant les murs de l'édifice doivent être clairement identifiés et leurs propriétés, si possible, mesurées. Les propriétés de base des matériaux sont notamment : la couleur, la densité et, dans le cas des matériaux d'enveloppe, le taux d'absorption d'eau. L'infiltration d'air et de pluie doit toujours être prise en compte, puisqu'elle accentue souvent l'influence de la conduction de chaleur et de la diffusion de vapeur sur les caractéristiques hygrothermiques. La précision absolue des données est moins importante lorsqu'on emploie une simulation hygrothermique en milieu clos comme outil d'analyse pour la conception, puisque les décisions de conception sont fondées sur les variations discrètes du montage et des matériaux. Par conséquent, en ce qui a trait à la conception, on devrait insister davantage sur la comparaison du rendement simulé des différents montages et zones climatiques, plutôt que sur les valeurs absolues de rendement.

Implications pour l'industrie de l'habitation

Le présent projet de recherche a mis en lumière les forces et les faiblesses de la modélisation hygrothermique dans l'évaluation du rendement des murs. La modélisation hygrothermique est un moyen économique d'évaluer le rendement d'un mur, mais la précision de l'analyse repose fortement sur la qualité des données sur les conditions d'interface, les propriétés des matériaux et le montage du mur. L'expertise de l'analyste en matière de physique des bâtiments et sa connaissance de la sensibilité aux variations paramétriques des modèles hygrothermiques sont également essentielles. En ce qui a trait au rendement des murs en maçonnerie pleine isolés, les mesures expérimentales et les résultats des simulations indiquent que, dans l'immeuble à l'étude, l'installation après coup d'un isolant intérieur dans le mur n'a pas eu d'effet néfaste sur sa durabilité.

Directeur de projet : Duncan Hill
Titre du rapport de recherche : Comparaison du rendement modélisé et du rendement mesuré d'éléments d'isolation murale installés après coup dans un bâtiment en maçonnerie pleine, Mars 2003

Consultants de recherche : Dr John Straube
M. Chris Schumacher

Recherche sur le logement à la SCHL

Aux termes de la partie IX de la *Loi nationale sur l'habitation*, le gouvernement du Canada verse des fonds à la SCHL afin de lui permettre de faire de la recherche sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et d'en publier et d'en diffuser les résultats.

Le présent feuillet documentaire fait partie d'une série visant à vous informer sur la nature et la portée du programme de recherche de la SCHL.

Pour consulter d'autres feuillets *Le Point en recherche* et pour prendre connaissance d'un large éventail de produits d'information, visitez notre site Web à

www.schl.ca

ou communiquez avec la

Société canadienne d'hypothèques et de logement
700, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7

Téléphone : 1 800 668-2642
Télécopieur : 1 800 245-9274

NOTRE ADRESSE SUR LE WEB : www.schl.ca

Bien que ce produit d'information se fonde sur les connaissances actuelles des experts en habitation, il n'a pour but que d'offrir des renseignements d'ordre général. Les lecteurs assument la responsabilité des mesures ou décisions prises sur la foi des renseignements contenus dans le présent ouvrage. Il revient aux lecteurs de consulter les ressources documentaires pertinentes et les spécialistes du domaine concerné afin de déterminer si, dans leur cas, les renseignements, les matériaux et les techniques sont sécuritaires et conviennent à leurs besoins. La SCHL se dégage de toute responsabilité relativement aux conséquences résultant de l'utilisation des renseignements, des matériaux et des techniques contenus dans le présent ouvrage.

61170